

|          |    |            |  |                   |
|----------|----|------------|--|-------------------|
| Meyniana | 54 | Seite 5–15 |  | Kiel, (Okt.) 2002 |
|----------|----|------------|--|-------------------|

## Quantitatives und qualitatives Denken in der Geologie

EUGEN SEIBOLD

SEIBOLD, EUGEN, 2002: Quantitatives und qualitatives Denken in der Geologie {Quantitative and qualitative ways of thinking in Geology}.– Meyniana, 54: 5–15, Kiel.

In my inaugural lecture in Kiel nearly half a century ago, I treated the ambiguous position of Geology. On the one hand, Geology has to apply physical, chemical, and biological laws, and may also try to deduce some of them. On the other hand, its historic approach with the irreversibility of time is its fundament. Therefore, Geology has to deal with singularities, and individualises in time and space. In spite of all the overwhelming progress in quantitative methods during the last decades, this qualitative principle remains valid.

Prof. Dr. h.c. mult. E. SEIBOLD, Richard Wagner Straße 56, D-79104 Freiburg.  
E-mail: Seibold-Freiburg@t-online.de.

### Kurzfassung

Vor fast einem halben Jahrhundert, am 9. Juli 1958, hatte meine Antrittsvorlesung in Kiel die Zwitterstellung der Geologie zum Inhalt. Einerseits muss sie die Gesetze der Physik, Chemie und der Biologie anwenden und auch versuchen, solche abzuleiten. Andererseits ist sie eine historische Wissenschaft, hat also mit einer vektoriellen Zeit zu tun. Sie geht damit Singularitäten nach und individualisiert sowohl zeitlich als auch räumlich. Bei allen beeindruckenden Fortschritten bei quantitativen Methoden bleibt dieses grundsätzliche Ziel bestehen.

### Einleitung

„Seit mehr als 150 Jahren werden in intensivster Arbeit geologische Fakten gesammelt. Trotzdem haben sich aus ihnen bislang erst verhältnismäßig wenige Regeln und Gesetze ableiten lassen und auf viele Grundfragen der Geologie kann auch heute noch keine hypothesenfreie Antwort gegeben werden. Ein Hauptgrund dafür, der viele andere in sich schließt, ist die vergleichsweise nur sparsame Verwendung der Zahl in der Geologie. Das ist für eine Zeit, in der das quantitative Denken den Großteil der übrigen Naturwissenschaften prägt, erstaunlich. Sachliche und methodische Gründe scheinen hierbei von Einfluss zu sein.

Sachliche Schwierigkeiten erwachsen schon daraus, dass wegen der räumlichen und zeitlichen Dimensionen auf echte Experimente in der Geologie meist verzichtet werden muss. So können anvisierte Gesetze kaum

je direkt nachgeprüft werden. Zudem erschweren die außerordentlich zahlreichen und komplexen Einflüsse, die in fast jedes geologische Problem einmünden, eine quantitative Behandlung.

Methodische Schwierigkeiten kommen dazu. Sie hängen eng mit dem eigenartigen Doppelcharakter der Geologie im Rahmen der gesamten Wissenschaften zusammen. Sie will auf der einen Seite aus ihrem Stoff Regeln und Gesetze ableiten. Auf der anderen Seite will sie auch die räumlich und zeitlich vielfach einmalige Konstellation des anorganischen Geschehens und der darin eingebetteten organischen Welt verstehen lernen.“

Dies war die Einleitung zu meiner Antrittsvorlesung in Kiel am 9. Juli 1958. Was ist heute, nach fast einem halben Jahrhundert, dazu zu sagen?

Zunächst sollte trotz mancher neuer Einwände immer noch gelten, dass das Messbare nicht der alleinige Gegenstand einer Naturwissenschaft wie der Geologie sein kann. Nicht alles ist unter das Wort GALILEO GALILEIS (1564–1642) „*Natura e scritta in lingua mathematica*“ zu stellen, das dieser in seiner verständlichen Begeisterung bei seinen Schritten in die damit so überaus erfolgreiche Neuzeit geschrieben hat.

Bekannt ist die generelle Entwicklung der Naturwissenschaften in drei Stadien. Das erste Stadium ist ein qualitatives: Fakten werden gesammelt und beschrieben. Allgemeine Prinzipien der Klassifikation werden erstellt. Das zweite ist ein quantitatives: Es wird gemessen und Gesetze werden in Gleichungen ausgedrückt. Das dritte ist, etwa in der Physik, wieder ein qualitatives: Die Konzepte der quantitativen Theorie werden in der Tiefe verstanden. Gleichungen können dann durch Theoreme ersetzt werden. In der Geologie ist und bleibt hingegen das wichtigste Ziel, alle Prozesse und möglichen Gesetzmäßigkeiten zu einem besseren Verständnis der Erdgeschichte mit ihrem einmaligen Ablauf einzubinden, unter Einbeziehung der in den letzten Jahrzehnten gewachsenen Erkenntnis, dass die Lebensgeschichte tief mit dem anorganischen Geschehen verwoben ist. Es kommen so immer mehr Überlegungen und Ergebnisse der Biologie in ihrer ähnlichen Zwitterstellung mit herein, das heißt mit einer Basis physikalisch-chemischer Gesetzmäßigkeiten, zugleich mit geschichtlichen, evolutionären Einflüssen.

Wir sind auf dem Weg, beide Ansätze miteinander verbinden zu lernen. Man denke allein an die Kieler Fortschritte in der Paläoklimatologie. Doch stehen wir immer noch erst am Beginn eines Zeitalters, auf das der Schweizer Alpengeologe ALBERT HEIM (1849–1937) schon 1888 gehofft hat: „Gewiss wird einst die Zeit kommen, wo auch die Geologie an ihre Probleme mit Rechnung herantreten kann... Allein wir werden diese Zeit nicht mehr erleben“.

Immerhin können wir schon heute die Geschwindigkeiten, mit denen sich die Alpen herausgehoben oder sich auf ihr Vorland geschoben haben in mm

oder cm pro Jahr angeben, oder feststellen, in welche Tiefe sich ihre Gesteine gebildet und umgebildet haben.

Hinter diesem Hin und Her zwischen Qualitativem und Quantitativem steht natürlich die Tatsache, dass beides in unserem Denken tief verankert ist. ARISTOTELES (384–322 v. Chr.) konnte dafür keinen Oberbegriff finden, weshalb er die Frage „Wie groß?“ und „Wie beschaffen?“ bekanntlich zwei Kategorien zuordnete. Die Hirnforschung weist darauf hin, dass diese Fragen wahrscheinlich sogar in einer linken bzw. rechten Gehirnhälfte verarbeitet werden: Wir können auf keine der beiden verzichten.

### **Zum Quantitativen**

Quantitatives Vorgehen fördert unter anderem die Objektivität – nach Kant –, fördert die Standardisierung, zielt auf immer genauere Messmethoden, immer leistungsfähigere Computer zur Verarbeitung eines immer größeren Datenmaterials für eine statistische Auswertung. Man kann letzteres aber auch zu weit treiben. Der englische Naturforscher Sir FRANCIS GALTON (1822–1911) forderte: „Whenever you can, count!“ Früh schon hat er deshalb statistische Untersuchungen angestellt, sogar über die Wirksamkeit von Gebeten. So unbestritten der Wert der Statistik ist, so sehr schränkt sie aber auch die Anschaulichkeit ein. Mehr noch: Am Computer erkennt man nicht einmal mehr seine eigene Handschrift.

Obwohl die Grundlagen für das Messbare in den Naturwissenschaften schon in der Antike gelegt worden ist, zum Beispiel im Rahmen der Erdmessung für die Geometrie, kam das Messen erst vor vier Jahrhunderten voll zur Geltung. Es musste wohl eine lange Gewöhnung an mathematisches Denken im Mittelalter vorausgehen, an Normen bei Maß-Systemen, an den abstrakten Umgang mit der Zeit mittels mechanischer Uhren oder der Abstraktion des Raums mit Hilfe der Perspektive. Da Messen ein Vergleichen mit Einheitsgrößen bedeutet und diese nur durch Konsens zu determinieren sind, dauert die Diskussion darüber oft lange. 1889 erst einigte man sich auf einer Generalkonferenz in Paris beispielsweise auf ein Ur-Kilogramm, ein Pt-Ir-Zylinder, doch verschiedene Pfunde, die Unze, das Karat haben trotzdem überlebt. 1840 hat Frankreich je eine Meterkopie an 18 europäische Staaten verschickt, doch noch 1855 zog England nach und gab 67 Kopien des Yards an ausländische Regierungen. Erst seit 1960 gibt die  $^{86}\text{Kr}$ -Strahlung weltweit das Einheitslängenmaß an.

Für uns Geologen liegt in alledem ein Trost. Wenn ein internationaler Konsens bei diesen so einfachen und einsehbaren Fragen so schwer zu erreichen ist, können wir uns ruhig jahrhundertlang über stratigraphische Grenzen streiten. Wo hören im 20 Jahrmillionen repräsentierenden Profil der Oberkreide in Lägerdorf die einzelnen Stufen auf und wo beginnen die

neuen? Wo hört in unseren Sedimentkernen das Pliozän auf und wo beginnt das Pleistozän? Wenn die Werte der absoluten Altersbestimmung, d.h. ein quantitatives Verfahren, engmaschig genug geworden sind, mag sich das Problem besser durch Zahlenangaben lösen lassen. Doch jeder, der in einem Kieler Kartierkurs das Aalenium an der Typlokalität kennengelernt hat, wird sich in England oder im Kaukasus freuen, dort mitunter ganz andere Gesteine dieser Altersstufe beklopfen zu können.

Das Material, mit dem es der Geologe zu tun hat, Gesteine, Fossilien, Strukturen, gibt zunächst einiges direkt her für eine quantitative Auswertung. Dies gilt für die Ermittlung von Korngrößenverteilung, den Mineralbestand oder den Chemismus von Gesteinen oder Fluiden, schon allein um zu einer objektivierbaren Klassifikation zu kommen, aber auch zu genetischen Schlüssen, etwa zur Unterscheidung zwischen wind- oder wassertransportierten Sanden. Turbidite vs. Konturite wäre ein weiteres Beispiel. Bei der Auswertung von Fossilgemeinschaften wird alles wegen möglicher Heterogenitäten im Ausgangsmaterial schwieriger. Trotzdem sei daran erinnert, dass CHARLES DARWIN (1809–1882) schon 1833 mit dem statistischen Vergleich der heute um das Mittelmeer lebenden Molluskenarten mit Fossilgemeinschaften aus dem dortigen Tertiär dieses stratigraphisch gliedern konnte. Für das Eozän kam er auf 3–4% rezenter Formen, für das Pleistozän Siziliens auf 96%.

### Beziehungen zum Qualitativen

„Sowie die Mathematik von unendlich Großem und unendlich Kleinem spricht, führt sie einen qualitativen Unterschied ein...“ schrieb FRIEDRICH ENGELS (1820–1895) in seiner um 1875 begonnenen, nachgelassenen „Dialektik der Natur“. In der Elementarteilchenphysik handelt es sich um Dimensionen von  $10^{-15}$  cm, in der Kosmologie von Lichtjahren, also dem Bereich von  $10^{18}$  cm. Man misst heute den Ablauf von chemischen Reaktionen schon in femto-sec, d.h.  $10^{-15}$  Sekunden und nimmt ein Alter des Universums von mehr als 10 Milliarden Jahren, d.h.  $3,2 \times 10^{17}$  Sekunden an. Aber auch schon der Beginn des Kambriums liegt 570 Millionen Jahre, d.h.  $1,8 \times 10^{16}$  Sekunden zurück. Das sind das menschliche Vorstellungsvermögen überschreitende Dimensionen, die wir im Normalfall nur qualitativ, als „kleine“ und „große“ erfassen können. Wir haben uns im Laufe unserer Evolution darauf eingerichtet, mit einem „Mesokosmos“ (MOHR 1999) zurechtzukommen: Millimeter und Sekunden mit deren Bruchteilen bis Kilometer und einigen Jahrzehnten; oder sogar Augenblicke, Pulsschläge, Jahreszeiten, einen Steinwurf weit, eine Tagesreise. Dies sind auch die Dimensionen unserer physikalischen Erfahrung, mit der NEWTON auskommt, um seine Dynamik zu beschreiben (PRIGOGINE 1979).

In der Bibel gibt es Stellen, in denen man mit Gott, der alles, auch große Zahlen, kennt, nicht konkurrieren soll. In der Spätantike fordert der alexandrinische Epigrammatiker PALLADAS (319–400):

Sprich, wie ermisst du die  
Größe des Alls, die Grenzen der Erde,  
Winzling – ein klein wenig Lehm  
bildet dein klein wenig Leib.  
Miss und zähle dich selbst erst aus,  
erkenne dich selbst erst,  
Ehe du Maß und Zahl misst  
des unendlichen Alls.  
Kannst du das klein wenig Lehm  
deines Leibes schon nicht ermessen,  
Wie wirst ermessen du je  
des Unendlichen Maß!

Groß und klein, nicht als Zahl, sondern als Qualitäten – und auch die – heute noch wichtigere – Aufforderung, bescheiden zu bleiben!

Bezeichnend ist auch, dass die bei den Analysen angefallenen Riesen-zahlen vielfach erst graphisch umgesetzt werden müssen, um aus „steilen“ oder „flachen“ Kurven den Bestand oder Bildungsbedingungen, also Qualitativen, evident ableiten zu können.

Mit Sicherheit sind Einsichten bei Anwendungen der Chaostheorie oder der fraktalen Geometrie auch in der Geologie zu erwarten, zum einen etwa beim Kaskadeneffekt, wobei kleinste Ursachen große Wirkungen auslösen können, wie etwa der gesicherte Einbruch des Atlantiks in das trockengefallene Mittelmeer vor etwa 5 Millionen Jahren (Hsü et al. 1973) oder die noch umstrittene Überschwemmung des Schwarzen Meers über die Bosphorusschwelle um 5600 v. Chr. (RYAN & PITMAN 1998). Zum andern verlocken qualitative Muster wie Lobenlinien der Ammoniten, mit dem visuell so begabten BENOIT MANDELBROT (zum Beispiel 1982) Fraktale zu studieren. Ob aber immer die qualitative Form mit einer quantitativen Formel erklärt werden kann, wird sich zeigen.

Dass Quantitatives in Qualitativen umschlagen kann, zeigt nicht nur der Übergang von Wasser zu Eis bei einer minimalen Temperaturänderung, sondern auch geringste Erhöhung der Wärmezufuhr aus dem Mantel, sodass die Wärmeleitung nicht mehr ausreicht und Konvektionsströmungen – als Motor für das Seafloorspreading – in der Art des BÉNARD'schen Modells einsetzen. Ein Seitensprung: Solche Umschläge vom Quantitativen zum Qualitativen können auch gefährlich werden, etwa wenn Wissen in Halbwissen umschlägt.

Ein letztes: Fortschritte in der mathematischen Behandlung auch unserer Fragen zwingen zum Ersatz der „Proxydaten“ durch noch exaktere Werte. Trotzdem genügt es auch heute noch in vielen Fällen, von Riffkorallen oder Palmresten tropisches oder subtropisches Paläoklima abzuleiten, ohne alle

Temperaturkurven zum Jahresgang. Und natürlich ist die Wanderung einer Sanddüne der Effekt von Bewegungen und Ruhepausen zahlloser Sandkörner, die man mit Großcomputern einmal einzeln analysieren und mit den Windverhältnissen korrelieren könnte. Eine Input/Output-Betrachtung würde freilich auf die einfachere Methode des Vergleichs von Luftbild-Zeitreihen hinweisen.

Es war der Stolz der mathematischen Geologie in den Fünfziger Jahren, dass durch automatische Zähl- und Analysengeräte zahllose numerische Daten gewonnen und sie mit Hilfe der Computer immer besser gespeichert und statistisch verarbeitet werden konnten. In den Sechzigern kamen Trendanalysen, Korrelationstechniken, mathematische Simulationsmethoden und damit der Zugang auch zu geologischen Modellen dazu. Die Absenkung von Sedimentbecken und ihre Auswirkung für Bildung und Zerstörung von Kohlenwasserstoffen ist schon heute ein erfolgreiches Modellbeispiel bis in die Anwendung hinein. Doch auch die Heraushebung von Gebirgen, die das Material zur Beckenfüllung liefern, kann damit angegangen werden, denn die Mineralphysik stellt dazu neuerdings exakte Daten zur Verfügung.

Die Vorstellung vom Aufquellen von Mantelmaterial und die damit beginnende Bildung der ozeanischen Kruste an den Mittelozeanischen Rücken sowie deren Abkühlung und Absenkung hat zu einem einzigartigen erdgeschichtlichen Gesetz geführt: Diese Rücken senken sich mit der Quadratwurzel der geologischen Zeit ab. Doch das beruht auf einfachen physikalischen Zusammenhängen. Mit dem Stolz auf dieses Gesetz muss die Einsicht einhergehen, dass man immer noch schwer erklären kann, warum – und gerade zum Ende des Perms – Pangaea so spektakulär aufsplitterte.

### **Experimente in der Geologie**

Echte Experimente zur Aufklärung der Geschichte und des Baues der Erde sind wegen der Dimensionen in Zeit und Raum nicht möglich. Trotzdem öffneten etwa die Laborversuche von HENRICUS JACOBUS VAN 'T HOFF (1852–1911) um 1896–1908 mit der Eindampfung von Meerwasser neue Wege zum Verständnis der Evaporite. Deformationsexperimente führen zwar zu objektiven und kontrollierbaren Ergebnissen, sind aber in der Natur aus Maßstabsgründen nicht verifizierbar. Indessen führen sie zu prinzipiellen Fragen der Mechanik. Die experimentelle Petrographie mit ihren seit 1906, seit PERCY WILLIAMS BRIDGMAN (1882–1961), so eindrucksvollen Fortschritten könnten hier auch angeführt werden. Ab Mitte der Siebziger Jahre wurde das Gesteinsmaterial unter „währenden“ p- und t-Bedingungen untersucht, neuerdings auch unter vermehrter Berücksichtigung von Fluid- und Gasphasen oder von Ungleichgewichten. Doch gerade diese stören bei der Übertragung der Er-

gebnisse in die Natur. So weit man in Strömungskanälen gekommen ist mit dem quantitativen Verständnis von Erosions-, Transport- und Sedimentations-Prozessen, so mühsam bleibt es, diese Kenntnisse auf Strom- oder Hafenbau- und Küstenschutzfragen, geschweige denn auf erdgeschichtliche Verhältnisse anzuwenden. Doch gibt es keinen Grund für Minderwertigkeitskomplexe: Die Astronomie rechnet zwar, muss aber völlig ohne Experimente auskommen.

Man kann auch die Modellsimulation der Ozeanographen, etwa zu gross-regionalen Strömungsvorgängen der Vergangenheit, und deren Test in Sedimentkernen zu den Experimenten rechnen. Es ist ein relativ neues Feld, das mit Sicherheit beide Seiten weiterhin befruchten wird.

### **Quantitatives und geologische Zeiten**

Trotz Vorläufern kam Vertrauen in Experimente erst im Laufe des 17. Jahrhunderts, nach Einführung geeigneter Messgeräte auf. Quantifizierung setzt ja messen voraus. Doch GALILEI, der das moderne Experimentieren eingeführt hat, soll bei seinen Fallversuchen noch seinen Puls als Kurz-Zeitmesser benutzt haben, wohl deshalb, weil seine Pendel, mit denen er sich beschäftigte, noch zu lang waren. Es wird zumindest berichtet, dass er die Konstanz der Schwingungsperioden einer Lampe in der Kathedrale zu Pisa mit seiner Pulsrate verglichen hat. Noch länger dauerte es, bis der Geologie ein verlässliches Instrument für die Langzeitmessung zur Verfügung gestellt wurde. Erst mit der Entdeckung der Radioaktivität durch HENRY ANTOINE BECQUEREL (1852–1908) im Jahre 1896 und deren einschlägiger Anwendung auf eine absolute Altersbestimmung ein Jahrzehnt danach konnten entscheidende Fortschritte in der Geologie wie auch in der Paläontologie erzielt werden. Damit wurde ein Weg geöffnet, geologische Prozesse hinsichtlich ihrer Geschwindigkeiten quantitativ zu erfassen. Um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert wurde dies aber noch wichtiger, weil damit genügend große Zeiträume verfügbar wurden, um die Anschauungen DARWIN's zur Evolution zu stützen. Deshalb gibt es ja auch die Attacken auf die Alterswerte durch die Kreationisten.

Die absolute Altersdatierung wurde in den letzten Jahrzehnten laufend verbessert. Zunächst wurden die zeitlichen Fixpunkte vermehrt. Trotzdem stehen derzeit im groben Mittel für das Phanerozoikum solche nur alle 1–2 Millionen Jahre zur Verfügung. Mit anderen Methoden konnte dann zwischen ihnen interpoliert, ja die Fixpunkte signifikant korrigiert werden. Das Umschlagen des Erdmagnetfeldes, die Spaltspur- oder die Thermolumineszenz-Methoden, die Auswertung der Milankovitch-Zyklen seien erwähnt. In Tiefseekernen wurden die stratigraphischen Zeitscheiben, auch in Kiel, zum Teil bis auf Jahrzehnte herunter reduziert. Mit Jahreslagen, etwa in Korallenstöcken

oder in Wattsedimenten kann man heute auf die Zahl der Tage pro Jahr oder pro Mondmonat schließen, Zahlen, die sich im Lauf der Erdgeschichte durch die Gezeitenreibung verändert haben.

Welche Fortschritte seit der Antrittsvorlesung 1958! Dort hieß es: „Die Anpassung dieses leider noch klaffenden Netzes <absoluter Altersdatierungen> an die geologischen Beobachtungen und Probleme gehört gegenwärtig mit zur erregendsten Aufgabe der Geologie. Erst wenn absolute Daten und eine Methode zur Ermittlung von 10 000 – 1 Million Jahren als Leitmaßstab zur Verfügung stehen, können wir an so einfache Fragen wie die Sedimentationsdauer unserer Kalkbänke gehen. Erst dann können wir beurteilen, wie viele Jahren zwischen dem Auftreten neuer Arten liegen“.

### **Qualitatives – Unmessbares: Zeitliches Individualisieren**

Das Bisherige bezog sich auf die messbare Zeit, die „physikalische“, „tote“, nach HEIDEGGER (1889–1976) „vulgäre“ Zeit. Die „erfahrene“, nach AUGUSTINUS (354–430) „von der Seele gemessene“ Zeit, die jeder kennt, wenn er sein Leben nach Ereignissen gliedert, kann auch für die Erdgeschichte gelten. Singuläres, Individuelles kommt in sie herein. Es gibt zwar auch in ihr zyklische Verläufe, in denen wie in der Physik die Zeit austauschbar ist. JAMES HUTTON (1726–1797), vom Studium des Blutkreislaufs beeindruckt, hat zum Beispiel auf den Kreislauf der Gesteine hingewiesen und CHARLES LYELL (1797–1875) hat dies mit seinem Uniformitarianismus weiterentwickelt. In dessen verändern sich im Laufe von Jahrmillionen tektonische, klimatische oder biologische Faktoren so sehr, dass sich auch Kreislaufprozesse ändern können. Man steigt nicht zweimal in den gleichen Fluss, trotz gleichbleibender Gesetze des Wasserkreislaufs, des Strömungsmechanismus, der Erosion ändert sich die Form des Flussbetts oder die mitgeführte Fracht. Das sind jeweils zeitlich einmalige Verhältnisse. Man sollte deshalb den Aktualismus mit Verstand anwenden.

Selbst in der Physik gewinnt die Vorstellung von einer „gerichteten“ Zeit, vom „Pfeil der Zeit“, an Boden, gegründet auf die Zunahme der Entropie (JULES HENRI POINCARÉ, 1854–1912). ILYA PRIGOGINE nimmt dies auf und spricht darüber hinaus von der „merkwürdigen Dualität zwischen Gesetzen und Ereignissen“, was ganz auf die Erdgeschichte zutrifft. STEPHEN J. GOULD geht (1987) näher auf diese Bezüge ein.

Ein schönes Beispiel für diese Dualität hat in Kiel der 1971–1985 gelauene Sonderforschungsbereich 95 erbracht. Man ging interdisziplinär der Wechselwirkung Meerwasser/Meeresboden nach. Dabei wurden sowohl die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten erarbeitet und angewandt, die im Strömungskanal untersucht wurden, aber auch Sturmlagen in den Ostseesedimenten entdeckt, die jeweils mit historischen meteorologischen Ereignissen korreliert werden konnten (RUMOHR et al. 1987).



Natürlich beherrscht diese unumkehrbare, vektorielle Zeit noch deutlicher die Lebensgeschichte. Sonst gäbe es ja keine Leitfossilien. Die Entwicklung der Lebewesen beeinflusst aber auch das anorganische Geschehen. Ohne die Erfindung der Photosynthese wäre unsere Atmosphäre und Hydrosphäre im Präkambrium nicht in oxydierendes Milieu umgeschlagen. Und ohne das massenhafte Auftreten planktonischer Kalkschaler im Jura wäre heute nicht die Hälfte der Ozeanböden mit Kalkschlamm bedeckt, was für den so viel diskutierten  $\text{CO}_2$ -Haushalt von Bedeutung ist. Ob die Entwicklung der Organismen (nach der Gaia-Hypothese von J.E. LOVELOCK, 1988) oder anorganische Vorgänge, wie die Zunahme der kontinentalen Kruste und ihr wiederholtes Zerbrechen bei der Bildung von neuen Ozeanen die aktive Rolle spielt, wird noch diskutiert. Der dicke Erdmantel ist aber wohl wichtiger als die dünne Haut, in der sich das Leben abspielt.

In das Einerlei des Geschehens auf der Erde, wie es sich HUTTON vorstellte, brechen aber regional oder sogar global Ereignisse herein, die GEORGES CUVIER (1796–1832) mit seiner Katastrophentheorie noch nicht einmal ahnen konnte. Die Rieskatastrophe oder der Aufprall des Himmelskörpers, der weiterhin die Kreide/Tertiärgrenze markiert, seien hier genannt. Auf das Trockenfallen des Mittelmeers im Pliozän sei noch einmal hingewiesen. Es sind jeweils zunächst utopisch anmutende Szenarios, die kritische Reaktionen herausfordern und damit die Diskussion beleben, bis wir der Wahrheit näherkommen.

Natürlich sind viele Auswirkungen solcher Katastrophen messbar und sogar die Ursachen bekannt. Doch ihr exaktes Eintreten kann noch immer nicht zuverlässig vorausgesagt werden, was sogar leider auch für Vulkaneruptionen zutrifft.

Das Problem des Singulären, der Qualität, tritt hier besonders drastisch zutage. Doch viel trivialer: Was verlieren wir nicht durch die Abstraktion an Anschaulichkeit? Der Steinkohlensumpf, das Zechsteinriff, das Eozän von Messel – diese Bilder müssen erst zum Leben erweckt werden mit der Frage „Wie was das beschaffen?“ – und nicht „Wie groß war das?“. Dann erst kann man sich fragen, welche unwahrscheinliche Kombination von Faktoren zusammenwirken mussten, um beispielsweise ein hundert Meter mächtiges Braunkohlenflöz entstehen – und erhalten – zu lassen. Der Ansatz zur Lösung gleicht der Aufgabe eines Detektivs. Dieser muss zunächst aus vielen Indizien zu rekonstruieren versuchen, wer geschossen hat. Noch viel schwieriger ist es dann, herauszufinden, warum er das getan hat.

Schon 1897 hat T.C. CHAMBERLIN von einer „Methode der multiplen Arbeitshypothesen“ gesprochen. C.E. CLEVELAND (2001) ist näher auf diese Zusammenhänge eingegangen.

Der frühere Herausgeber von „Nature“, H. GEE (1999) spricht dagegen allen Hypothesen, die sich mit der fernen Vergangenheit befassen, alles Wissenschaftliche ab, da sie experimentell nicht nachgeprüft werden kön-

nen: „No science can ever be historical“. Er bezieht diese Aussage hoffentlich nur auf sein engeres Fachgebiet, die cladistische Abstammungslehre. Man kann „science“ natürlich auch generell so eng definieren, doch ist man geneigt, mit dem Verhaltensforscher KONRAD LORENZ (1903–1989) darauf zu antworten:

„Eine der schwersten Geisteskrankheiten der heutigen Menschheit liegt in der weit verbreiteten Überzeugung, dass etwas, was sich nicht quantifizieren und nicht in der Sprache der sogenannten „exakten“ Naturwissenschaften ausdrücken lässt, keine reale Existenz besitze...“. Oder NIETZSCHE (1844–1900) in seinem „Gegen die Gesetze“: „Es schweigt mir jegliche Natur beim Ticktack von Gesetz und Uhr“. So geht es aber natürlich auch nicht!

### **Räumliches Individualisieren**

Das geologische Denken wird aber nicht nur durch zeitliches, sondern auch durch räumliches Individualisieren geprägt. „Das zeigt jede Begegnung mit dem zum reinen Generalisieren erzogenen Techniker auf irgendeiner Baustelle. Während der Bauingenieur bestrebt ist, ja bestrebt sein muss, die Baugrundverhältnisse zu schematisieren, sie quantitativ mit Kennziffern zu bezeichnen, um sie mit seinen Formeln rechnerisch verarbeiten und bewältigen zu können, sieht der Geologe stets das Einmalige des Falles“ (1958). Also etwa den geologischen Rahmen oder die jahreszeitlichen Grundwasserstände. Und der damalige Schluss der Vorlesung: „Dieser Blick auf die einmalige Situation macht die Geologie so kompliziert. Er bereichert sie aber auch so ungemein. Er zwingt den Geologen mehr als jeden anderen Naturwissenschaftler, immer wieder von seiner blassen und verblassenden Abstraktion zu seiner farbigen, konkreten Wirklichkeit zurückzukehren. Zurück zu seinem roten Sandstein, dem Formenspiel seines Ammonitengehäuses, aber auch zum sich lang hinziehenden Albrand oder zum geologischen Tag, an dem das nordische Eis das letzte Mal über Kiel nach Süden vordrang.“

Doch selbst dieses farbenfrohe Bild bleibt verschwommen und in den meisten Teilen unerklärt, wenn aus ihm und für sein Verständnis nicht durch exakte Methoden naturwissenschaftliche Gesetze abgeleitet werden. Mit andern Worten: Der Geologe muss durch quantitatives Vorgehen zu Gesetzen, aber auch zu besseren und verbindlichen qualitativen Aussagen kommen“.

#### **Danksagung**

Für ergänzende Hinweise bin ich MICHAEL SARNTHEIN, FRIEDRICH WERNER und KYAW WINN – Kiel dankbar.

### **Literatur**

- CHAMBERLIN, T.C. (1897): The method of multiple working hypotheses.– J. Geol., 5:837–848.  
 CLEVELAND, C.E. (2001): Historical science, experimental science, and the scientific method.– Geol., 29/11:987–990.

- GEE, H. (1999): In search of deep time: beyond the fossil record to a new history of life.– Free Press, New York, 267 S.
- GOULD, S.J. (1987): Time's arrow – time's cycle. Myth and Metaphor in the discovery of geological time.– Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 222 S.
- HEIM, A. (1880): Zum „Mechanismus der Gebirgsbildung“.– Z. dt. Geol. Ges., 32:264–265.
- HSÜ, K.J., RYAN, W.B. & CITA, M.B. (1973): Late Miocene desiccation of the Mediterranean Sea.– Nature, 241:240–244.
- LOVELOCK, J.E. (1988): The ages of Gaia – A biography of our living Earth.– Oxford. Univ. Press, Oxford, 252 S.
- MANDELBROT, B.B. (1982): The fractal geometry of nature.– Freeman, San Francisco, 460 S.
- MOHR, H. (1999): Wissen – Prinzip und Ressource.– Springer, Berlin etc., 212 S.
- RYAN, W.B.F. & PITMAN, W.C. (1998): Noah's flood – The new scientific discoveries about the event that changed history.– Simon & Schuster, New York, 319 S.
- PRIGOGINE, I. (1979): Vom Sein zum Werden.– Piper, München, 261 S.
- RUMOHR, J., WÄLGER, E. & ZEITZCHEL, B. (1987): Seawater-sediment interactions in coastal waters. An interdisciplinary approach.– Springer, Berlin etc., 338 S.

Manuskript eingegangen am: 26.02.2002

Revidiert am: 02.03.2002